Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 5, Dec.-Jan. 2024, p. 575-590

The Effect of Deficit Irrigation and Regulated Deficit Irrigation on Yield and Water Productivity of the Watermelon

N. Bahremand[1] **H. Aroiee**[2*], **A. Aien**[3]

1 and 2- Ph.D. Graduate and Associate Professor, Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: Aroiee@um.ac.ir)
3- Associate Professor, Research Department of Agricultural and Horticultural Sciences, Research and Education Center of Agriculture and Natural Resources in the South of Kerman Province, Jiroft, Iran

Received: 13-09-2024 Revised: 26-10-2024 Accepted: 10-11-2024 Available Online: 10-11-2024	**How to cite this article:** Bahremand, N., Aroiee, H., & Aien, A. (2024). The effect of deficit irrigation and regulated deficit irrigation on yield and water productivity of the watermelon. *Journal of Water and Soil, 38*(5), 575-590. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2024.89774.1436

Introduction

Watermelon (*Citrullus lanatus*) is a widely recognized product with high demand, nutritional value, and export potential worldwide. Since the ultimate goal of agricultural production systems is to maximize plant yield, providing sufficient water to the plant is one of the most critical factors influencing yield. Therefore, investigating the effects of water limitation is an essential and undeniable necessity. On the other hand, deficit irrigation has been introduced as an approach to increase water productivity. Therefore, it is essential to consider the effects of this water-saving method on plant production, which highlights the need for further research. Deficit irrigation involves supplying only a portion of the plant's water requirements, while regulated deficit irrigation is a specific type of deficit irrigation that can be applied in various ways, such as irrigation based on growth stages, or allocating water to stages that are more sensitive to drought. It is important to recognize that plant response to water deficit depends on several factors, including climatic conditions, plant type, the intensity and method of deficit irrigation application, soil condition, and management practices.

Materials and Methods

In order to determine the effect of deficit irrigation and regulated deficit irrigation on yield and water productivity of the watermelon, an experiment in the form of randomized complete blocks with 8 treatments including three irrigation levels of 100, 70 and 50 % of the plant's water requirement (evapotranspiration estimated by the FAO-Penman-Monteith method) and 5 regulated deficit irrigation levels including 50% of the water requirement in the stages of seedling, vine, flowering, fruit expansion and fruit maturity were carried out with three replications under black plastic mulch, during 2020-2022, in the Research and Education Center of Agriculture and Natural Resources in the south of Kerman province. Irrigation as the main plot at three levels of 100, 70 and 50% of water requirement and mulching at three levels of crushed date palm leaf, black plastic and no mulch, as the sub-plot, were considered. Crimson B 34 watermelon seeds produced by Seminis company, were planted on January 2021, in plots with the size of 13.5 × 7 m, on furrows and ridges planting system (the width of furrows and ridges were 0.5 and 4 meters, respectively). After planting, bow-shaped wires were put on the planting rows and a transparent plastic was placed as a tunnel on them. In the first year, the total depth of the irrigations in aforesaid treatments were respectively 444, 321, 237, 413, 389, 435, 345 and 425, and in the second year 427, 303, 223, 395, 373, 416, 331 and 405 mm.

Results and Discussion

https://doi.org/10.22067/jsw.2024.89774.1436

The results showed that the highest and lowest yield were observed in full irrigation and irrigation 50 % (60.1 and 16.3 t ha^{-1} respectively). Among the regulated deficit irrigation treatments, irrigation 50% at the seedling stage was the closest to full irrigation, and the irrigation 50 % at the fruit expansion stage had the lowest yield. The highest water productivity belonged to the irrigation 50 % in the seedling and vine stages (15.9 and 1.15 kg m^{-3} respectively). Irrigation 50% at fruit maturity stage despite half irrigation, improved Qualitative characteristics such as soluble solids, vitamin C, dry matter, lycopene and fruit taste.

Conclusion

Applying deficit irrigation led to a significant decrease in watermelon yield compared to full irrigation (control). Water productivity remained nearly constant, and there was no significant improvement in the quality of the edible part. However, treatments involving regulated deficit irrigation, such as irrigation during the seedling stage, showed similar yield to full irrigation, while the 50% irrigation during the vine stage resulted in higher water productivity. Additionally, 50% irrigation during the fruit maturity stage produced superior fruit quality compared to the control. Overall, regulated deficit irrigation yielded better results than deficit irrigation due to less yield reduction, increased water productivity, and improved fruit quality, especially under water-restricted conditions. Finally, it is recommended that milder intensities of deficit irrigation that seem to have more favorable results in this plant should be investigated in the next studies.

Keywords*:* Growth stages, Lycopene, Vitamin C, Water requirement

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸ شماره ۵، آذر- دی ۱۴۰۳، ۵۹۰-۵۷۵

اثر کم‌آبیاری و کم‌آبیاری تنظیم شده بر عملکرد و بهره‌وری آب در گیاه هندوانه

نادیا بهره مند[۱]- حسین آروئی[۲*]- احمد آیین[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰

چکیده

شناسایی استراتژی‌های آبیاری کارآمد و اثر آن‌ها بر عملکرد گیاه و بهره‌وری آب موضوع درخور توجهی می‌باشد. هدف از انجام این پژوهش تعیین اثر کم‌آبیاری و کم‌آبیاری تنظیم شده بر عملکرد و بهره‌وری آب در گیاه هندوانه بود که با آزمایشی به‌صورت بلوک‌های کامل تصادفی با ۸ تیمار شامل سه سطح آبیاری ۱۰۰، ۷۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه (تبخیر و تعرق) و ۵ سطح آبیاری تنظیم شده شامل ۵۰ درصد نیاز آبی مراحل گیاهچه، ساقه‌دهی، گلدهی، توسعه میوه و بلوغ میوه با سه تکرار، تحت خاکپوش پلاستیک سیاه، طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۹ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان انجام شد. سال نخست، عمق کل آب آبیاری در تیمارهای فوق‌الذکر به‌ترتیب ۴۴۴، ۳۲۱، ۲۳۷، ۴۱۳، ۳۸۹، ۴۳۵، ۳۴۵ و ۴۲۵ و سال دوم ۴۲۷، ۳۰۳، ۲۲۳، ۳۹۵، ۳۷۳، ۴۱۶، ۳۳۱ و ۴۰۵ میلی‌متر بود. نتایج نشان داد بیشترین و کمترین عملکرد (به‌ترتیب ۶۰/۱ و ۱۶/۳ تن در هکتار) در تیمارهای آبیاری کامل و آبیاری ۵۰ درصد مشاهده شد، در بین تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده، آبیاری ۵۰ درصد مرحله گیاهچه، نزدیک‌ترین تیمار به آبیاری کامل و آبیاری ۵۰ درصد مرحله توسعه میوه کمترین عملکرد را داشت. بیشترین مقادیر بهره‌وری آب، به آبیاری ۵۰ درصد مراحل ساقه‌دهی و گیاهچه (به‌ترتیب ۱۵/۹ و ۱۵/۱ کیلوگرم بر متر مکعب) تعلق داشت. آبیاری ۵۰ درصد مرحله بلوغ میوه برخلاف آبیاری ۵۰ درصد، سبب بهبود ویژگی‌های کیفی نظیر مواد جامد محلول، ویتامین ث، ماده خشک، لیکوپن و مزه میوه شد. بطور کلی کم‌آبیاری تنظیم شده نسبت به کم‌آبیاری بدلیل کاهش عملکرد کمتر، افزایش بهره‌وری آب و کیفیت میوه در هندوانه نتایج مطلوب‌تری داشت که در مواجه با محدودیت آب می‌تولند قابل‌توجه باشد.

واژه‌های کلیدی: لیکوپن، مراحل رشد، نیاز آبی، ویتامین ث

مقدمه

هندوانه (*Citrullus lanatus*) محصولی با تقاضا و ارزش غذایی بالا و قابلیت صادرات در سراسر جهان شناخته شده و با توجه به اینکه هدف نهایی سیستم‌های تولید کشاورزی، حصول به حداکثر عملکرد گیاه هست و حیاتی‌ترین عامل مؤثر بر عملکرد، تأمین آب مورد نیاز گیاه بوده، به تبع آن بررسی اثر محدودیت آب به‌صورت کم‌آبیاری در گیاه ضرورتی انکارناپذیر بنظر می‌رسد (Kanber, Sarı, & Ozmen, Unlu, 2015 ; Allakonon, Zakari, Tovihoudji, Fatondji, & Akponikpe, 2022). از طرفی کم‌آبیاری به‌عنوان ابزاری برای افزایش بهره‌وری آب معرفی شده است (Xu *et al.*, 2022)، پس لازم است اثرات این شیوه صرفه‌جویی در مصرف آب بر تولید گیاه نیز در نظر گرفته شود که این مطلب ضرورت مطالعه را مضاعف کرده و بطور آشکارتری نمایان می‌سازد و البته باید بدانیم پاسخ گیاه به کم‌آبیاری به عوامل متعددی از جمله شرایط اقلیمی، نوع گیاه، شدت و نحوه اعمال کم‌آبیاری، وضعیت خاک و مدیریت وابسته است (Wang *et al.*, 2023 ; Muhie, Akele, & Yeshiwas, 2024). کم‌آبیاری با تأمین بخشی از نیاز آبی گیاه در طول دوره رشد بجای آبیاری کامل اعمال می‌شود، در حالی‌که کم‌آبیاری تنظیم شده نوعی از کم‌آبیاری است که به چندین شیوه از جمله آبیاری بر پایه مراحل رشد یا به‌عبارتی تخصیص آب به مراحل حساس‌تر به خشکی قابل اجراست (Chai *et al.*, 2016). کم‌آ بیاری علاوه بر حفاظت آب که بخش

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش آموخته دکتری و دانشیار، گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: Aroiee@um.ac.ir
۳- دانشیار، گروه تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، جیرفت، ایران

https://doi.org/10.22067/jsw.2024.89774.1436

مهمی از کشاورزی پایدار است (Du, Kang, Zhang, & Davies, 2015; Hou, Yang, Han, Cai, & Li, 2019)، می‌تواند بر کل چرخه رشد گیاه تأثیر بگذارد و جنبه‌های مختلف مانند عملکرد میوه، کیفیت درونی، اندازه میوه و زمان برداشت آن را نیز تحت تاثیر قرار دهد (Gao et al., 2014). کم‌آبیاری به‌موقع و مناسب هندوانه نه تنها می‌تواند کیفیت هندوانه را بهبود بخشد و عملکرد را حفظ یا حتی افزایش دهد، بلکه باعث افزایش راندمان مصرف آب نیز می شود (Wang, Wang, & Zhang, 2020). اگرچه کم‌آبیاری اجباری ممکن است تهدید جدی برای منابع خاک بوده و لازم است تمهیدات لازم برای کنترل شوری و تخریب منابع خاک در آینده نیز اندیشیده شود (Jafari & Abbasi, 2022). عبدالخالیک و همکاران اثر سطوح آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه هندوانه، تحت خاکپوش پلاستیک را در منطقه والنسیا" اسپانیا ارزیابی و بدین نتیجه دست یافتند که آبیاری ۵۰ درصد سبب کاهش شدید رشد، عملکرد، کیفیت میوه و بهره‌وری آب گیاه شد، لیکن بهره‌وری آب با آبیاری ۷۵ درصد قابل قبول بود (Abdelkhalik et al., 2019). مطالعات اوزمن و همکاران در منطقه چکوروا" ترکیه، عدم تأثیر آبیاری با سطوح ۷۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی بر عملکرد و کیفیت میوه هندوانه را گزارش کرده است (Ozmen, Kanber, Sarı, & Unlu, 2015). بررسی پاسخ ارقام دیپلوئید و تری‌پلوئید هندوانه با کم‌آبیاری توسط یلنگ و هی (Yang & He, 2022) نشان داد، محتوای آب نسبی برگ به‌طور قابل توجهی کاهش و منجر به کاهش عملکرد گیاه و افزایش محتوای قند میوه شد. سیلوا و همکاران (Silva et al., 2023) افزایش محتوی پرولین برگ با آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه هندوانه را گزارش کردند. ونگ و همکاران (Wang et al., 2023) در منطقه کشاورزی واحه در شمال غرب چین در سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ در گیاه هندوانه به ارزیابی اثر دو سطح کم‌آبیاری تنظیم شده ملایم (۷۰ – ۶۰ درصد) و متوسط (۶۰ – ۵۰ درصد) بر پایه ظرفیت زراعی خاک در مراحل گیاهچه، ساقه‌دهی، توسعه میوه و بلوغ میوه بجز مراحل گلدهی و آغاز میوه‌دهی بر رشد، عملکرد، بهره‌وری آب و صفات کیفی نظیر مواد جامد محلول، قندهای محلول، ویتامین ث میوه پرداختند. میسلی و همکاران (Miceli, Vetrano, Torta, Esposito, & Moncada, 2023) در بررسی اثر آبیاری ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه خربزه رقم هیبرید هلیوس به این نتیجه دست یافتند که کم‌آبیاری متوسط و شدید به‌طور قابل‌توجهی محتوای آب نسبی برگ، عملکرد، و سفتی میوه را کاهش داد، ولیکن رلندمان آبیاری و محتوای ویتامین ث میوه به‌طور قابل توجهی افزایش یافت. اثرات کم‌آبیاری تنظیم‌شده بر رشد، فیزیولوژی و بیوشیمی گیاه خربزه تحت رژیم‌های آبی ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای در شرایط گلخانه‌ای نیمه کنترل شده توسط مدیچ و همکاران بررسی شد (Meddich et al., 2022). اکسو و همکاران (Xu et al., 2023) در بررسی کم‌آبیاری در گیاه گوجه فرنگی به این نتیجه رسیدند که کم‌آبیاری ملایم (۴۱۸۵ متر مکعب در هکتار) در مقایسه با آبیاری کامل (۴۵۰۰ متر مکعب در هکتار)، تحت خاکپوش پلاستیک و آبیاری قطره‌ای، سبب بهبود عملکرد فتوسنتزی، افزایش تجمع ماده خشک و بهبود شرایط رطوبتی خاک و در نتیجه افزایش رشد و نمو و در نهایت عملکرد گیاه و بهره‌وری آب شد و کم‌آبیاری ملایم در مراحل گیاهچه، گلدهی و بلوغ میوه و آبیاری مجدد در مرحله بزرگ شدن میوه نتیجه مطلوب‌تری در مقایسه با آبیاری کامل داشت (Xu et al., 2023). مطالعات ژنگ و همکاران و شوهات و همکاران (Zhang, Xiong, Huang, Xu, & Huang, 2017; Shohat, Eliaz, & Weiss, 2021) بیانگر این مطلب بود که کم‌آبیاری در گیاه گوجه‌فرنگی افزایش گلدهی، بهبود رنگ میوه و افزایش محتوای جامد محلول میوه بالغ شد لذا با توجه به اهمیت شناسایی استراتژی‌های آبیاری کارآمد نظیر کم‌آبیاری و اثر آن‌ها بر تولید محصولات کشاورزی و بهره‌وری آب، ناکافی بودن اطلاعات مختص اقلیم در پاسخ گیاه به رویکرد کم‌آبیاری و آگاهی از این امر که با وجود پیشرفت‌های علمی، هنوز مدیریت نادرست و بکارگیری روش‌های منسوخ آبیاری گیاه هندوانه در بسیاری از مناطق کشور، منجر به کاهش عملکرد و کیفیت محصول در سطح وسیع می‌شود که پیامدهای جدی برای منافع اقتصادی و اجتماعی داشته، علاوه بر این در ایران نیز مانند سایرکشورها از نظر مصرف آب بخش‌های مختلف، بخش قابل توجهی در کشاورزی استفاده می‌شود (Abbasi et al., 2024)، از اینرو هر گونه اقدامات اصلاحی در مدیریت آبیاری نقش مهمی در پایداری کشاورزی و دسترسی به آب خواهد داشت (Abbasi & Abbasi, 2024). لذا این تحقیق با هدف تعیین اثر کم‌آبیاری و کم‌آبیاری تنظیم شده بر عملکرد، بهره‌وری آب و کیفیت میوه گیاه هندوانه در جنوب استان کرمان طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی محل و تیمارهای آزمایش: این مطالعه در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان واقع در منطقه علی‌آباد شهرستان جیرفت (عرض شمالی ۳۶' /۲۸°، طول شرقی ۴۸'/۵۷° و ارتفاع ۶۲۴ متر از سطح دریا)، در سال زراعی ۱۴۰۱– ۱۳۹۹ انجام شد. بر اساس میانگین ۳۰ ساله متغیرهای هواشناسی (دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۴۷ درصد، بارندگی سالیانه کمتر از ۱۶۰ میلی‌متر، دوره یخبندان ۱۵–۴ روزه، مدت تابش ۳۱۷۶/۳ ساعت و تبخیر تجمعی بیش از ۲۰۰۰ میلی‌متر) اقلیمی گرم و نیمه خشک است. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۸ تیمار و سه تکرار در دو فصل زراعی طی سال‌های ۱۴۰۱

– ۱۳۹۹ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری ۱۰۰، ۷۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی (تبخیر و تعرق) در دوره رشد گیاه و ۵ سطح آبیاری تنظیم شده شامل ۵۰ درصد نیاز آبی مراحل گیاهچه، ساقه‌دهی، گلدهی، توسعه میوه (بزرگ شدن) و بلوغ میوه بود.

سامانه آبیاری و اعمال تیمارها: آبیاری قطره‌ای شامل لوله اصلی با قطر ۶۳ میلی‌متر که برای ثبات دما و کاهش آثار مخرب آفتاب زیر خاک قرار داده شد. لوله‌های فرعی با قطر ۱۶ میلی‌متر، به تعداد خطوط کاشت و مجهز به شیر کنترل دبی آب و به هر لوله نوار تیپ با فاصله قطره‌چکان ۱۵سانتی‌متر و خروجی ۲ لیتر در ساعت متصل شد. برای جلوگیری از ورود هرزآب به مکان اجرای آزمایش، کانالی به عمق ۳۰ سانتی‌متر دور تا دور آن حفر گردید. عمق آب آبیاری تا پیش از استقرار گیاه (ظهور برگ سوم حقیقی) برای همه تیمارها یکسان و از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$ID_i = (\theta_{FC} - \theta_i) \times Dr \qquad (۱)$$

که در این رابطه، IDi: عمق آب آبیاری (mm)، Dr: عمق مؤثر ریشه (mm)، θ_{FC} و θi: به‌ترتیب رطوبت حجمی خاک در گنجایش مزرعه‌ای و پیش از آبیاری ($m^3\ m^{-3}$) است. مقادیر رطوبت گنجایش مزرعه‌ای و پژمردگی دائم با دستگاه صفحات فشاری (جدول ۱) و رطوبت خاک پیش آبیاری با روش وزنی اندازه‌گیری شد. از زمان اعمال کم‌آبیاری، عمق آب مورد نیاز گیاه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی (شاهد) با رابطه (۲) با محاسبه تبخیر و تعرق مرجع به کمک داده‌های بلندمدت هواشناسی (ده سال) و نرم‌افزار ET0 cal بر اساس روش فائو – پنمن– مانتیث (Jefferies & Mackerron, 1993) و سپس استخراج ضرایب گیاهی هندوانه از نشریه ۵۶ فائو برای مراحل ابتدایی، میانی و پایانی دوره رشد گیاه (۰/۴، ۱ و ۰/۷۵)، تعیین شد (Allen, 1998).

$$ID_{100} = ET_c = ET_o \times K_c \qquad (۲)$$

در این رابطه، (ETo) تبخیر و تعرق مرجع روزانه بر حسب میلی‌متر در روز، Kc ضریب گیاهی و ETc تبخیر و تعرق گیاه برحسب میلی‌متر است. حجم آب آبیاری از رابطه (۳) با احتساب مساحت کرت، عمق و بازده آبیاری مشخص شد.

$$V = \frac{(ID \times A)}{Ea} \qquad (۳)$$

V حجم آب آبیاری (متر مکعب)، ID عمق آب آبیاری (متر)، A مساحت کرت (متر مربع) و Ea بازده آبیاری که ۹۰ درصد در نظر گرفته شد.

عمق کل آب در تیمارهای آزمایش در سال اول ۴۴۴، ۳۲۱، ۲۳۷، ۴۱۳، ۳۸۹، ۴۳۵، ۳۴۵ و ۴۲۵ و در سال دوم ۴۲۷، ۳۰۳، ۲۲۳، ۳۹۵، ۳۷۳، ۴۱۶، ۳۳۱ و ۴۰۵ میلی‌متر بود که به‌ترتیب به سطوح آبیاری ۱۰۰، ۷۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی دوره رشد گیاه و۵۰ درصد نیاز آبی مراحل گیاهچه، ساقه‌دهی، گلدهی، توسعه میوه و بلوغ میوه تعلق داشت. برای اعمال کم‌آبیاری تنظیم شده، نیاز آبی هر مرحله رشد بسته به ۵ تیمار اعمال شده (فوق‌الذکر) با شیوه شرح داده شده برای محاسبه نیاز آبی گیاه تعیین و ۵۰ درصد آن در مرحله رشد مد نظر در اختیار گیاه قرار گرفت. برای اطمینان از تحویل آب محاسبه شده، کنتور نصب شد. برای تعیین زمان آبیاری در فاصله دو آبیاری در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی پس از آبیاری، در فواصل زمانی مشخص، از عمق مؤثر ریشه نمونه‌برداری و درصد رطوبت تعیین گردید. زمانی‌که تفاوت رطوبت با رطوبت آستانه‌ای که با رابطه (۴) به‌دست آمد در دامنه نوسان ۵٪ آستانه‌ای شد، آبیاری صورت گرفت.

$$\theta_{MAD} = \theta_{FC} - (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times MAD \qquad (۴)$$

θMAD رطوبت آستانه‌ای، θFC و θpwp به‌ترتیب رطوبت حجمی نقاط گنجایش مزرعه‌ای و پژمردگی دائم (متر مکعب بر میلی‌متر) و MAD بیشینه تخلیه مجاز رطوبت بود. بهره‌وری آب (Wp) با رابطه (۵) از تقسیم عملکرد گیاه بر مجموع آب مصرف‌شده (آبیاری و بارندگی مؤثر) محاسبه شد.

$$WP = \frac{Y}{I + Pe} \qquad (۵)$$

Y عملکرد گیاه بر حسب کیلوگرم در هکتار، I+Pe آب مصرف شده (I عمق آبیاری و Pe بارندگی مؤثر) بر حسب متر مکعب بود. بارندگی مؤثر مکان با نرم‌افزار CropWat و روش USDA S.C. مشخص شد (Ayele, Asseffa, & Tuhar, 2023). قبل از کشت از نقاط مختلف مزرعه تا عمق۳۰ سانتی‌متر توسط مته، نمونه‌برداری و پس از مخلوط کردن، نمونه مرکب یک کیلوگرمی برای تعیین برخی خصوصیات خاک انتخاب گردید (جدول ۱).

کشت گیاه و اعمال تیمارهای آزمایش: قبل از کاشت، خاکپوش پلاستیک سیاه (ضخامت ۱۰۰ میکرون) روی ردیف‌ها کشیده شد دوایری با قطر ۴ و فاصله ۵۰ سانتی‌متر از هم (محل کاشت بذر) روی آن ایجاد و کناره‌های آن زیر خاک قرار گرفت. در تاریخ یک دیماه هر دو سال کشت بذر هندوانه رقم کریمسون B34 تولید شرکت سمینیس، در دو طرف جوی‌های کم عمق (۸۸۸۸ بوته در هکتار)، انجام شد. پس از کاشت بذر، برای ایجاد تونل به‌منظور طولانی‌تر کردن فصل رشد منطقه روی ردیف‌های کاشت، مفتول‌هایی به شکل کمان با فاصله ۱/۵ متر از هم مستقر شده و روی آنها پلاستیک شفاف (عرض ۲ متر) کشیده شد و اطراف پلاستیک زیر خاک قرارداده شد. تهویه تونل‌ها حتی در هوای سرد در ساعات آفتابی اجتناب‌ناپذیر بود. برای جلوگیری از وارد شدن شوک دمایی به گیاه، کنار زدن پلاستیک شفاف بصورت تدریجی انجام شد. برای کنترل مگس جالیز و سرخرطومی، دو مرتبه سمپاشی با سم دیمترون قبل از ظهور گل و میوه انجام شد. لیوان‌های یکبار مصرف حاوی گوگرد پودری در کنار خطوط کاشت بعنوان دافع آفات نیز قرار داده شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مکان انجام آزمایش

Table 1- Some soil physical and chemical properties of the experiment location

عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)	0 – 30
واکنش pH (–)	7.60
رسانایی الکتریکی عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity (dS/m)	1.20
نسبت جذب سدیم Sodium absorption ratio (–)	2.90
منیزیم و کلسیم (میلی‌اکی والان در لیتر) Magnesium and Calcium (meq / L)	4.00
کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	0.39
بافت Texture (–)	Loam
رس (درصد) Clay (%)	22.0
سیلت (درصد) Silt (%)	33.0
شن (درصد) Sand (%)	42.0
نیتروژن (درصد) Nitrogen (%)	0.031
فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم) Phosphorus (mg/kg)	9.40
پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) Potassium (mg/kg)	320
ظرفیت مزرعه‌ای Field Capacity (%V)	27.3
نقطه پژمردگی دائم (%V) Permanent wilting point	11.6
جرم مخصوص (درصد) Bulk density (g/cm3)	1.30

محلولپاشی حشره‌کش مالاتیون، آبامکتین و کنفیدر با غلظت‌های درج شده روی برچسب سموم در فواصل دو هفته‌ای و تزریق کنفیدر در سیستم آبیاری انجام شد. از قارچکش استفاده نگردید. تغذیه گیاه با کود مرغی بمیزان ده تن در هکتار از طریق خاک و کودهای ویتا فول، اکوفول و کود آهن لایفر، هفتگی با سیستم آبیاری انجام شد. مرحله گیاهچه از استقرار گیاه تا شروع ساقه‌دهی، مرحله ساقه‌دهی از شروع ساقه‌دهی تا تشکیل گل (تشکیل اولین گل نر در ۸۰ درصد بوته‌ها)، مرحله گلدهی از شروع گلدهی تا ریزش گلبرگ‌ها، مرحله توسعه میوه از ریزش گلبرگ‌ها تا لندازه نهایی و مرحله بلوغ میوه از لندازه نهایی تا برداشت در نظر گرفته شد. شاخص بلوغ میوه سخت شدن پوسته بذر و شاخص برداشت تغییررنگ پوست میوه از سفید به کرم در تماس با خاک و تغییر رنگ پیچک مجاور میوه از سبز به قهوه‌ای بود.

اندازه‌گیری صفات و تجزیه و تحلیل آماری: صفات ارزیابی شده، شامل عملکرد و اجزا آن، بهره‌وری آب، نسبی برگ (Smart & Bingham, 1974)، پرولین (Carillo & Gibon, 2011)، فنول (Slinkard & Singleton, 1977)، آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (Giannopolitis & Ries, 1977) و صفات تعیین کیفیت میوه شامل مواد جامد محلول (TSS)، pH عصاره و اسید قابل تیتر (TA)، مزه (نسبت مواد جامد محلول به اسید قابل تیتر)، ویتامین ث (Arya, Mahajan, & Jain, 2000)، درصد ماده خشک میوه، لیکوپن (Fish, Perkins-Veazie, & Collins, 2002)، طول و عرض میوه و شاخص شکل (نسبت طول به قطر میوه) بود. محاسبه عملکرد با

رعایت اثر حاشیه‌ای از ناحیه وسط خطوط کاشت از مساحت ۹ مترمربع از هر تیمار و تکرار در نظر شـد. دسـتگاه‌های مورد اسـتفاده شـامل اسپکتروفتومتر[1]، رفرکتومتر[2] و pH متر[3] و کلروفیل‌سنج بود. تجزیه و تحلیل آماری با برنامه‌های ماکرو و مینی‌تب نسـخه ۱۹ و مقایسـات میانگین با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشـان داد اثر سـال بر محتوای آب نسـبی برگ در سطح ۵ درصد و اثر آبیاری بر کلیه صفات ذکر شده در جدول ذیل در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

عملکرد و اجزاء آن: بر اسـاس میانگین دو فصـل عملکرد و اجزاء آن (متوسـط وزن میوه و تعداد میوه در بوته) بیشـترین مقادیر را در آبیاری کامل گیاه داشـتند (جدول ۳)، بیشـترین و کمترین عملکرد (به‌ترتیب ۶۰/۱ و ۱۶/۳ تن در هکتار) در آبیاری کامل و آبیاری ۵۰ درصد دوره رشد گیاه مشاهده شد، در بین تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شـده، آبیاری ۵۰ درصـد مرحله گیاهچه با آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری نداشـت (۵۶ تن در هکتار)، کمترین تعداد میوه در بوته با آبیاری ۵۰ درصـد مرحله گلدهی و آبیاری ۵۰ درصـد گیاه (به‌ترتیب ۱/۰۵ و ۱ عدد) مشـاهده شـد و بیشـترین متوسـط وزن میوه (۴/۸۰ کیلوگرم) نیز در آبیاری کامل بدون تفاوت معنی‌دار با آبیاری ۵۰ درصد مراحل گلدهی، گیاهچه و ساقه‌دهی مشاهده شد. در مقایسه کلی بین تیمارهای کم‌آبیاری و کم‌آبیاری تنظیم شـده مورد بررسـی در این آزمایش، کمترین میزان عملکرد (۱۶/۳ تن در هکتار) به آبیاری ۵۰ درصـد تعلق داشـت که نسـبت به آبیاری کامل (۶۰/۱ تن در هکتار) تقریباً ۷۳ درصـد کاهش نشـان داد، در حالی‌که کلیه تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده حتی آبیاری ۵۰ درصد مرحله توسعه میوه که در بین تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده عملکرد کمتری داشت نسبت به آبیاری ۵۰ در سـطح بالاتری قرار گرفت و این نشـان از برتری کم‌آبیاری تنظیم شده دارد، با وجود یکسری تفاوت‌ها در شیوه اعمال کم‌آبیاری و سایر شرایط انجام آزمایشات در مناطق مختلف، مطالعات قبلی نیز نتایجی را اعلام نموده که با نتایج این تحقیق همخوانی و یا تضاد دارد؛ از جمله در مطالعه انجام شده در منطقه کشاورزی واحه در شـمال غرب چین در سـال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ در گیاه هندوانه دو سطح کم‌آبیاری ملایم (۷۰ – ۶۰ درصد) و متوسط (۶۰ – ۵۰ درصد) بر پایه ظرفیت زراعی خاک در طول مراحل گیاهچه، ساقه‌دهی، توسعه میوه و بلوغ میوه (بجز مراحل گلدهی و آغاز میوه‌دهی) با آبیاری کامل مقایسه شدند و نتایج نشان داد کم‌آبیاری ملایم در مرحله گیاهچه در مقایسه با آبیاری کامل (شاهد) افزایش نشان داد، عملکرد سایر تیمارها به درجات مختلفی کاهش یافت که در میان آنها تفاوت اثر کم‌آبیاری ملایم مراحل سـاقه‌دهی و بلوغ میوه بر عملکرد گیاه معنی‌دار نبود، در حالی‌که کم‌آبیاری مرحله توسـعه میوه بطور قابل توجهی با آبیاری کامل متفاوت بود (Wang *et al.*, 2023). شـاید در مراحل اولیه، که گیاه کوچک و درجه حرارت پایین‌تر است،

شدت تقاضا آب نیز کم است و گیاه با سرعت کمتری تحت تأثیر کم‌آبیاری قرار می‌گیرد و این با یافته‌های قبلی سـازگار بود که در آزمایشات خود در مورد کم‌آبیاری هندوانه در گلخانه، در توجیهه اثرات کم‌آبیاری اعلام کردند که اعمال کم‌آبیاری مرحله گیاهچه، رشد ریشه را تا حدی تحریک، حرکت مواد مغذی را مهار می‌کند و سبب تسهیل رشـد بیشـتر گیاه بعد از آبیاری مجدد می‌شـود، اما کم‌آبیاری مرحله توسـعه میوه باعث کاهش عملکرد می‌شـود (Yang *et al.*, 2017). مطالعات مرتبط نشـان داده‌اند که گیاهان زراعی با درجه خاصـی از تنش آبی سـازگار هسـتند بطوری‌که کم‌آبیاری همیشـه عملکرد را کاهش نمی‌دهد، و در مراحل اولیه رشـد گیاه حتی ممکن اسـت برای افزایش عملکرد مفید باشد (Turner, Khanthavong *et al.*, 2021 1990) در حالی‌که در تضـاد با مورد اخیر در مطالعه دیگری به این نتیجه رسـیدند که عملکرد کم‌آبیاری ملایم مرحله تشـکیل و توسـعه میوه (بزرگ شـدن میوه) به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از آبیاری کامل بود که ممکن اسـت به تنوع محصـول، شـرایط آب و هوایی، و شـیوه‌های مدیریتی مرتبط باشد (Wang, Kang, & Wang, 2007). تفاوت در شدت تنش‌های بکار رفته در این آزمایشات شاید یکی از دلایل اصلی تفاوت در گزارشـات باشـد، همانطور که مطالعات متعددی گزارش داده‌اند که محصـولات کشـاورزی نسـبت به کمبود آب متوسـط انعطاف‌پذیر هستند و رفتار فیزیولوژیکی محافظتی بالایی از خود نشان می‌دهنـد (Mukherjee, Dash, Das, & Das, 2023). همچنین مطالعه اسـتراتژی‌های مدیریت آبیاری در دو فصـل رشـد در منطقه والنسـیا اسـپانیا با اعمال ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصـد نیاز آبیاری گیاه و ۶ سطح کم‌آبیاری تنظیم شده که از این تعداد سه تیمار کم‌آبیاری تنظیم شـده با آبیاری ۷۵ درصـد مرحله گیاهچه تا گلدهی (اسـتقرار گیاه تا پایان گلدهی یک مرحله در نظر گرفته شده است)، تشـکیل و توسعه میوه و بلوغ میوه و سه تیمار دیگر با آبیاری ۵۰ درصد در همین مراحل بود نشـان داد که قرار گرفتن گیاه هندوانه در معرض کمبود نسـبتاً شـدید آبیاری (۵۰ درصـد نیاز آبی) در دوره رشـد گیاه منجر به کاهش شدید عملکرد بدون بهبود در کیفیت میوه شده که با نتایج این تحقیق کاملاً همخوانی دارد،

1- PerkinElmer uv/vis, Lambada 25
2- RHB-32ATC
3- Milwaukee

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر سال، کم‌آبیاری و کم‌آبیاری تنظیم شده بر عملکرد، اجزاء عملکرد، بهره‌وری آب، محتوای آب نسبی و پایداری غشا

Table 2- Analysis of variance of year, deficit irrigation and regulated deficit irrigation effect on yield, fruit mean weight, fruit number, water productivity, relative water content and membrane stability

		میانگین مربعات Mean squares					
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد Yield	متوسط وزن میوه Fruit mean weigh	تعداد میوه Fruit number	بهره‌وری آب Water productivity	محتوی آب نسبی برگ Relative water content	پایداری غشا Membrane stability
سال Year	1	2.90	0.80	0.02	0.05	453 **	7.67
خطا (تکرار × سال) Error	4	35.2	0.72	0.06	10.5	10.7	3.03
آبیاری Irrigation	7	1139**	7.42**	0.22 **	41.4 **	159 **	92.7**
سال × آبیاری Y× I	7	0.46	0.01	0.01	0.09	1.70	5.10
خطا Error	28	28.8	0.37	0.01	0.96	2.18	2.75
ضریب تغییرات CV	-	12.03	16.8	10.2	7.40	2.00	2.20

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

** significancy at 1 percent probability level

جدول ۳- مقایسه میانگین دو فصل اثر کم‌آبیاری و کم‌آبیاری تنظیم شده بر عملکرد، اجزاء عملکرد، بهره‌وری آب ، محتوای آب نسبی و پایداری غشا

Table 3- Mean comparisons of deficit irrigation and regulated deficit irrigation effect on yield, fruit mean weight, , leaf, fruit number, water productivity, relative water content and membrane stability

تیمار Treatment	عملکرد (t ha^{-1}) Yield	متوسط وزن میوه Fruit mean (kg) weigh	تعداد میوه Fruit number (No)	بهره‌وری آب Water productivity (kg m^{-3})	محتوی آب نسبی Relative (%)water content	پایداری غشا Membrane stability (%)
آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) Full irrigation (100% water requirement)	60.1a	4.80 a	1.50 a	15.01 ab	79.4 a	80.7a
۷۰ درصد نیاز آبی 70% water requirement	42.0 cd	4.00b	1.30 b	15.1 ab	72.5 b	72.8cd
۵۰ درصد نیاز آبی 50% water requirement	16.3 e	1.86 c	1.00 c	8.10 d	64.5 d	70.6 d
۵۰ درصد نیاز آبی مرحله گیاهچه 50 water requirement of the seedling stage	56.2 ab	4.50 ab	1.35 ab	15.1 ab	76.5 ab	80.0a
۵۰ درصد نیاز آبی مرحله ساقه‌دهی 50% of the water requirement of the stemming stage	53.8 b	4.48 ab	1.30 b	15.9 a	76.3 ab	75.7 bc
۵۰ درصد نیاز آبی مرحله گلدهی و میوه‌دهی 50% water requirement of flowering	49 bc	4.75 a	1.05 c	11.7bc	73.3 b	75.5bc
۵۰ نیاز آبی درصد مرحله توسعه میوه 50 % water requirement of fruit development stage	34.6 d	2.01 c	1.10 bc	10.4 cd	67.5c	72.9cd
۵۰ نیاز آبی درصد مرحله بلوغ میوه 50 % water requirement of fruit maturity stage	49.3 bc	3.75b	1.50 a	12.1 b	74.5b	75.5bc

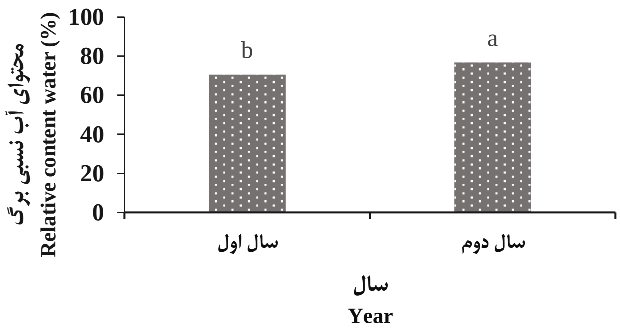
در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level based on Duncan multiple range test.

ولی این کاهش در کم‌آبیاری مرحله بلوغ میوه با شدت متوسط (۷۵ درصد نیاز آبی) به مراتب کمتر بود که بعد از آبیاری کامل بیشترین میزان را در بین تیمارها داشت ولی با آبیاری کامل نیز از لحاظ آماری متفاوت بود (Abdelkhalik *et al*., 2019). شاید علت

اصـلی تفاوت بین گزارشـات این مطالعه و تحقیق حاضـر و سـایر مطالعات این باشـد که در این مطالعه، سـه مرحله مهم رشـد گیاه هندوانه یعنی مراحل گیاهچه، ساقه‌دهی و گلدهی بطور مجزا بررسی نشده و بعنوان یک مرحله واحد در نظر گرفته شده است و سبب شده ویژگی هر مرحله در پاسخ به محدودیت آب بطور واضح نمایان نشود. در مقایسـه بین کم‌آبیاری و کم‌آبیاری تنظیم شـده، چون کم‌آبیاری تنظیم شـده امکان اعمال تنش در مراحل رشـد با حساسیت کمتر را فراهم می‌کند در نتیجه کاهش عملکرد کمتری را در گیاه پیش‌بینی می‌کند (Abdelkhalik *et al*., 2020).

بهره‌وری آب: بر اساس مقایسات میانگین دو فصل (جدول ۳)، بهره‌وری آب آبیاری ۵۰ درصـد مرحله سـاقه‌دهی و گیاهچه به‌ترتیب ۱۵/۹ و ۱۵/۱ کیلوگرم بر متر مکعب بود و با آبیاری کامل و آبیاری ۷۰ درصد دوره رشد تفاوت معنی‌داری نداشتند که در آبیاری ۵۰ درصد مرحله ساقه‌دهی به حداکثر میزان خود رسید و نسبت به آبیاری کامل ۶ درصـد افزایش داشـت کمترین میزان بهره‌وری آب (۸/۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب) در بین تیمارهای کم‌آبیاری و کم‌آبیاری تنظیم شـده در آبیاری ۵۰ درصد دوره رشد گیاه مشاهده شد، اینکه از لحاظ بهره‌وری آب تیمارهای آبیاری ۵۰ درصـد مرحله سـاقه‌دهی و گیاهچه از آبیاری کامل در سطح بالاتری قرار گرفتند نتیجه‌ای امیدوارکننده است اگرچه به لحاظ آماری این تفاوت معنی‌دار نیسـت البته پایین بودن مقدار این افزایش (۶ درصـد) می‌تواند به‌علت سـطح تنش بکار رفته باشـد که سطح نسبتاً شدیدی بوده است (۵۰ درصد نیاز آبی مراحل رشد) و در توجیه این مطلب می‌توان گفت چون در دو تیمار ذکر شـده کاهش عملکرد کمتری در مقایسـه با آبیاری کامل رخ داده و در عین حال صرفه‌جویی در مصرف آب هم در مقایسه با آبیاری کامل وجود داشته، بهره‌وری آب به مراتب افزایش یافته و در آبیاری ۵۰ درصـد مرحله سـاقه‌دهی به حداکثر میزان رسـید و با آبیاری ۵۰ درصـد دوره رشـد کمترین مقدار بهره‌وری (۸/۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب) را داشـته ولی آبیاری ۷۰ درصد در وضعیتی مشابه با آبیاری کامل قرار گرفته است. عموماً ارزیابی اثر کم‌آبیاری بر بهره‌وری آب گیاه با دو مؤلفه بسـیار مهم یکی میزان صـرفه‌جویی در مصـرف آب و دیگری میزان کاهش عملکرد در ازای صـرفه‌جویی صـورت می‌گیرد که معمولاً تیمارهای برترکاهش عملکرد کمتری با صـرفه‌جویی آب دارنـد (Comas, Trout, DeJonge, Zhang, & Gleason, 2019). سـال نخسـت، عمق کل آب در تیمارهای فوق‌للذکر به‌ترتیب ۴۴۴، ۳۲۱، ۲۳۷، ۴۱۳، ۳۸۹، ۴۳۵، ۳۴۵ و ۴۲۵ و در سـال دوم ۴۲۷، ۳۰۳، ۲۲۳، ۳۹۵، ۳۷۳، ۴۱۶، ۳۳۱ و ۴۰۵ میلی‌متر بود. در گزارشات دیگر نتایج مشابه با نتایج مطالعه حاضـر اعلام شـده که تیمارهای کم‌آبیاری با سـطوح مختلف تأثیر قابل توجهی بر بهره‌وری آب هندولنه داشـتند، اعمال کم‌آبیاری ملایم و متوسـط مراحل گیاهچه و سـاقه‌دهی بطور قابل‌توجهی بهره‌وری آب هندولنه را در مقایسـه با آبیاری کامل افزایش داد، در حالیکه تیمارهای تنش ملایم و متوسـط مرحله بلوغ میوه و تنش ملایم مرحله توسـعه میوه بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر کارآیی مصرف آب کمتری داشتند ولی کم‌آبیاری متوسط مرحله توسعه میوه کاهش قابل توجهی در مقایسه با آبیاری کامل نشان داد (Wang *et al*., 2023). این نتایج عمدتاً به تفاوت مراحل رشـد و نمو هندوانه از جمله تقاضـای آب متفاوت آنها مربوط می‌شـود، مثلاً گیاه در مرحله سـاقه‌دهی فرصـت بیشـتری برای جبران اثر تنش بعد از آبیاری مجدد داشـته و در مرحله بلوغ میوه عمدتاً تبدیل قندها و تجمع سـایر مواد مغذی صـورت می‌گیرد که هر دو مرحله نیاز آبی نسـبتاً کمتری در مقایسه با مرحله حساس بزرگ شدن میوه داشته و در نتیجه کم‌آبیاری تأثیر نسبتاً کمتری بر عملکرد داشته در حالی‌که در مرحله توسعه میوه بیشـترین تغییرات روی میوه اعمال می‌شـود، که توسـط بزرگ شـدن سلول و فراهمی آب امکان‌پذیر است و نیاز به آب به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد، در حالی‌که تنش آبی منجر به کاهش اندازه سـلول و استرس شدید منجر به سخت شدن دیواره سلولی می‌شود (Emam, Shekoofa, Salehi, & Jalali, 2010). طول متفاوت مراحل رشـد، میزان حسـاسـیت آن‌ها به تنش‌های بکاررفته و نیاز آبی هر مرحله از دوره رشـد گیاه، سـبب اثرات متفاوت بر بهره‌وری آب گیاه می‌شـود (Kuscu *et al*., 2015).



شکل ۱- مقایسه میانگین دو فصل اثر سال بر محتوی آب نسبی برگ گیاه هنداونه

Figure 1- Mean comparison of year effect on the relative water content of the watermelon in two seasons

محتوای آب نسبی برگ: سال دوم محتوای آب نسبی برگ (۷۶/۷) نسبت به سال نخست (۷۰/۵) میانگین بیشتری داشت (شکل ۱). آبیاری کامل بیشترین مقدار (۷۹/۴ درصد) محتوای آب نسبی را داشت که با آبیاری ۵۰ درصد مرحله گیاهچه تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). کاهش دسترسی به آب یا کاهش پتانسیل آب خاک و در نتیجه عدم تعادل بین جذب و تعرق، کاهش سطح جذب و فعالیت ریشه و از طرفی تغلیظ شیره سلولی (افزایش فشار اسمزی) محتوی آب نسبی برگ را کاهش می‌دهد (Smart & Bingham, 1974).

پایداری غشا: کمترین میزان پایداری غشا (۷۰/۶ درصد) در آبیاری ۵۰ و ۷۰ درصد دوره رشد گیاه و آبیاری ۵۰ درصد مرحله توسعه میوه داشت (جدول ۳) که آسیب بیشتر وارده به غشا سلولی را در اثر کمبود آب منعکس می‌کند (Bikdeloo *et al*., 2021). تخریب غشاهای سلولی از فعالیت گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن تولید شده که اغلب با بسته شدن روزنه و تجمع الکترون در مواجه با کمبود آب افزایش می‌یابد و تغییر شکل پروتئین، لیپیدهای غشا و ملکول‌های دی ان ای را نیز به دنبال خواهد داشت (Silva *et al*., 2023).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سال و اثر متقابل سال و آبیاری بر شاخص کلروفیل، رنگیزه‌های فتوسنتز (کلروفیل کل، آ و ب و کاروتنوئید)، محتوای پرولین، فنول کل و آنزیم سوپراکسید دیسموتاز معنی‌دار نبود، اثر آبیاری بر شاخص کلروفیل در سطح احتمال پنج درصد و بر رنگیزه‌های فتوسنتز، پرولین، فنول کل و آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۴).

شاخص کلروفیل و رنگیزه‌های فتوسنتز شامل کلروفیل کل، کلروفیل آ، با آبیاری ۷۰ و ۵۰ درصد دوره رشد گیاه و آبیاری ۵۰ درصد مرحله توسعه میوه در مقایسه با آبیاری کامل افزایش بیشتری داشت (جدول ۵)، که این افزایش غلظت می‌تواند ناشی از کاهش محتوای آب نسبی و کاهش سطح برگ گیاه در اثر کمبود آب باشد، گزارشات مشابهی از افزایش شاخص کلروفیل در سطوح تنش شدیدتر ارائه شده است. کلروفیل ب و کاروتنوئید نسبتاً تغییرات کمتری داشت که می‌تولند به حساسیت کمتر کلروفیل ب و پایداری کاروتنوئید مرتبط باشد. دلایل عمده کاهش کلروفیل در کم‌آبیاری کاهش ساخت کلروفیل با افزایش مصرف گلوتامات در مسیر تولید پرولین، آسیب غشا کلروپلاست با گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن (رادیکال‌های آزاد) و از طرفی تخریب ملکول کلروفیل و تجزیه بخش پروتئینی آن با افزایش آنزیم‌های کلروفیلاز، پراکسیداز و لیپو اکسیژناز به دنبال افزایش تنفس و تولید اتیلن باشد (Jing *et al*., 2023).

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر سال، کم‌آبیاری و کم‌آبیاری تنظیم شده بر شاخص کلروفیل، کلروفیل کل، کلروفیل آ، کلروفیل ب، کاروتنوئید، پرولین، فنول کل و آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز

Table 4- Analysis of variance of year, deficit irrigation and regulated deficit irrigation effect on chlorophyll index, total chlorophyll, chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoid, proline, total phenol and superoxide dismutase

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	کلروفیل کل Total chlorophyll	کلروفیل آ Chlorophyll a	کلروفیل ب Chlorophyll b	کاروتنوئید Carotenoid	پرولین Proline	فنول کل Total phenol	سوپر اکسید دیسموتاز Superoxide dismutase
		میانگین مربعات Mean squares							
سال Year	1	793	0.003	0.004	0.0009	0.001	1.33	0.66	17.5
خطا (تکرار * سال) Error	4	16.5	0.02	0.02	0.005	0.02	86.2	10.1	347
آبیاری Irrigation	7	69.04*	0.19**	0.14**	0.012**	0.11**	840**	233**	9070**
سال * آبیاری Y× I	7	14.07	0.002	0.004	0.001	0.005	0.41	0.06	53.3
خطا Error	28	10.10	0.009	0.008	0.001	0.003	1.54	1.50	122
ضریب تغییرات cv	-	5.57	7.33	8.46	13.5	11.80	4.00	10.2	14.8

** و * به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

**, * significancy at 1 and 5 percent probability levels respectively.

پرولین براساس مقایسات میانگین دو سال (جدول ۵) با آبیاری ۵۰ درصد دوره رشد گیاه در مقایسه با آبیاری کامل افزایش بیشتری نسبت به سایر تیمارها داشته که به بیشترین مقدار (۲/۳۱ میلی‌گرم در گرم بافت تازه) رسیده است، افزایش آنتی‌اکسیدانت‌های غیر آنزیمی نظیر پرولین در شرایط مواجه با کمبود آب در گیاه هندوانه گزارش شده است (Silva *et al*., 2023). مقابله با تنش در اغلب گیاهان علاوه بر تغییرات ظاهری (مورفولوژیک)، زراعی و فیزیولوژیک، با افزایش تولید ترکیبات فعال زیستی مانند پرولین، ترکیبات فنولی و آنزیم‌های ضد اکسیداسیون که سیستم دفاعی گیاه را تشکیل می‌دهند، همراه است (Silva *et al*., 2023).

فنول کل برگ گیاه بیشترین مقادیر (۴/۴۰ میلی‌گرم در گرم بافت تازه) را با آبیاری ۵۰ درصد دوره رشد گیاه داشت (جدول ۵). در شرایط تنش، ثبات غشا سلول با ساخت فنول‌ها بوسیله آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز امکان‌پذیر می‌شود (Tian & Lei, 2006).

آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز افزایش چشمگیری (۱۴۸ واحد در گرم بافت تازه) با آبیاری ۵۰ درصد داشت (جدول ۵). سیستم دفاعی گیاه در مواجه با کمبود آب فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیداتیو را افزایش می‌دهد (Yavuz, Seymen, Yavuz, Coklar, & Ercan, 2021).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر آبیاری بر صفات کیفی میوه مانند مواد جامد محلول، اسید قابل تیتر، پی‌اچ، مزه، ویتامین ث، ماده خشک، محتوی لیکوپن، طول و قطر میوه معنی‌دار است. اثر متقابل سال و آبیاری بر طول و شکل میوه در سطح ۵ درصد نیز معنی‌دار گردید (جدول ۶).

مواد جامد محلول: مواد جامد محلول میوه بر اساس مقایسات میانگین دو فصل (جدول ۷) با آبیاری ۵۰ درصد مرحله بلوغ میوه (۹/۴۶) افزایش ۵/۵۰ درصدی در مقایسه با آبیاری کامل (۸/۹۷) داشت. مواد جامد محلول آبیاری ۵۰ درصد دوره رشد و آبیاری ۵۰ درصد مرحله توسعه میوه کمترین میزان را داشت، و سایر تیمارها با آبیاری کامل از لحاظ آماری تفاوتی نداشت. در یافته‌های مطالعه کم‌آبیاری سبب عدم تأثیر معنی‌دار بر مواد جامد محلول و اسید آلی شد ولی کم‌آبیاری تنظیم شده بخصوص در مرحله بلوغ میوه این صفات را افزایش داد،

جدول ۵- مقایسه میانگین دو فصل اثر کم‌آبیاری و کم‌آبیاری تنظیم شده بر شاخص کلروفیل، کلروفیل کل، کلروفیل آ، کلروفیل ب، کاروتنوئید، پرولین، فنول کل و آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز گیاه هندوانه

Table 5- Mean comparisons of deficit irrigation and regulated deficit irrigation effect on chlorophyll index (SPAD), total chlorophyll, chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoid, proline, total phenol and superoxide dismutase

تیمار Treatment	شاخص کلروفیل Chlorophyll –) index (	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg. g fw)	کلروفیل آ Chlorophyll a (mg. g fw)	کلروفیل ب Chlorophyll b (mg. g fw)	کاروتنوئید Carotenoid (mg. g fw)	پرولین Proline (mg. g fw)	فنول کل Total phenol (mg . g fw)	سوپر اکسید دیسموتاز Superoxide dismutase (Unit.g fw)
آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) Full irrigation (100% water requirement)	52.5 bc	1.00 c	0.91 c	0.09 b	0.42 bc	1.03 d	1.07 d	52.0 d
۷۰ درصد نیاز آبی 70% water requirement	56.6 b	1.28 b	1.17 b	0.11 b	0.49 b	1.30 b	1.90 b	59.0 b
۵۰ درصد نیاز آبی 50% water requirement	64.3 a	1.71 a	1.42 a	0.29 a	0.86 a	2.31 a	4.40 a	148 a
۵۰ درصد نیاز آبی مرحله گیاهچه 50% water requirement of the seedling stage	53.6 bc	1.10 c	1.01 bc	0.09 b	0.42 bc	1.04d	1.07 d	52.4 d
۵۰ درصد نیاز آبی مرحله ساقه‌دهی 50% water requirement of the vine stage	54.01 bc	1.13 bc	1.03 bc	0.10 b	0.43 bc	1.15 c	1.30 c	55.0 c
۵۰ درصد نیاز آبی مرحله گلدهی 50% water requirement of flowering stage	54.3 bc	1.15 bc	1.05 bc	0.10 b	0.43 bc	1.19 c	1.40 c	55.9 c
۵۰ نیاز آبی درصد مرحله توسعه میوه 50 % water requirement of fruit development stage	55.8 b	1.28 b	1.17 b	0.11 b	0.49 b ٤٩	1.25b	1.80 b	59.0 b
۵۰ نیاز آبی درصد مرحله بلوغ میوه 50 % water requirement of fruit maturity stage	53.8 bc	1.13 bc	1.03 bc	0.10 b	0.43 bc	1.17c	1.30 c	55.1c

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level based on Duncan multiple range test.

جدول ٦- تجزیه واریانس اثر سال، کم‌آبیاری و کم‌آبیاری تنظیم شده بر مواد جامد محلول، اسید قابل تیتر، پی‌اچ، مزه، ویتامین ث، ماده خشک و لیکوپن، طول، قطر و شکل میوه

Table 6- Analysis of variance of deficit irrigation and regulated deficit irrigation effect on soluble solids (TSS), titratable acid (TA), pH, taste (Tss/Ta), vitamin C, drymatter, lycopene, length, width and fruit shape (Fle/Fwi)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares — مواد جامد محلول Soluble solids	اسید قابل تیتر Titratable acid	پی اچ pH	مزه Taste	ویتامین ث Vitamin C	ماده خشک Drymatter	لیکوپن Lycopene	طول میوه Fruit length	قطر میوه Fruit width	شکل میوه Shape
سال Year	1	0.07	0.0008	0.16	1.43	8.56	0.10	0.24	192	53.1	0.001
خطا (تکرار * سال) Error	4	0.30	0.06	0.03	19.9	3.06	0.24	38.00	84.00	16.3	0.02
آبیاری Irrigation	7	0.67 **	0.05 **	0.82 **	14.8*	5.44*	0.45 *	7.54 *	522 **	371 **	0.03
سال * آبیاری Y× I	7	0.02	0.003	0.01	2.87	1.22	0.08	1.23	24.00 *	0.51	0.01 *
خطا Error	28	0.08	0.002	0.02	2.28	2.89	0.06	6.63	9.12	4.68	0.006
ضریب تغییرات Cv	-	3.40	8.31	3.12	10.9	6.02	3.13	6.46	7.86	7.81	6.15

** و * به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

**, * significancy at 1 and 5 percent probability levels respectively.

مطالعات دیگر نشـــان داد که کم‌آبیاری قادر اســـت میزان جامد محلول و قند محلول میوه هندوانه را در مزرعه افزایش دهد، اما تأثیر کمتری بر میزان اسیدیته داشت، در مطالعه دیگری، مشخص شد که تیمارهـای مختلف کم‌آبیاری تنظیم شــــده اثرات قـابل توجهی بر شـاخص‌های مختلف کیفیت هندوانه داشـتند (Erdem & Yuksel, 2003)، این مطلب با یافته‌های لیو و همکاران نیز مطابقت دارد (Liu et al., 2014). ممکن است مرحله رشد گیاه تحت کم‌آبیاری و یا نوع تیمـار کم‌آبیاری نتـایج متفـاوتی از مواد جـامـد محلول ایجاد کنـد (Rouphael, Cardarelli, Colla, & Rea, 2008).

اسـید قابل تیتر عصـاره میوه بیشـترین میزان (۰/۸۵ درصد) را با آبیاری ۵۰ درصد مرحله توسعه میوه داشـت ولی سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. پی‌اچ عصاره میوه با آبیاری ۵۰ درصد مرحله توسـعه میوه در کمترین حد قرار گرفت (۳/۷۸) و در مقایسـه با آبیاری کامل (۴/۸۴)، کاهش ۲۱/۱ درصدی نشان داد، ولی تفاوتی بین سایر تیمارهای آبیاری مشاهده نشد.

مزه میوه بر اساس مقایسات میانگین، بیشترین میزان را (۱۶/۹) با آبیاری ۵۰ درصد مرحله بلوغ میوه داشت که ۱۵/۷ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت (جدول ۷)، کمترین میزان مزه در تیمار آبیاری ۵۰ درصد مرحله توسعه میوه وجود داشت.

ویتامین ث عصاره میوه بیشترین میزان (۲۹/۸ درصد) را با آبیاری ۵۰ درصد مرحله بلوغ میوه داشت که با سایر تیمارها غیر از آبیاری ۵۰ درصـد دوره رشـد (۲۶/۴ درصـد) که کمترین ویتامین ث را داشــت، تفاوت معنی‌داری نشـان نداد. با کم‌آبیاری تنظیم شـده در مراحل رشـد میوه افزایش محتوای ویتامین ث، گزارش شــده اســت (Liu et al., 2016).

ماده خشـک میوه بیشـترین میزان را با آبیاری ۵۰ درصـد مرحله بلوغ میوه (۸/۸۸ درصـد) و آبیاری ۵۰ درصد (۸/۸۵) داشت و کمترین میزان با آبیاری کامل (۸/۱۳) مشاهده شد.

لیکوپن میوه تیمارها بر اساس مقایسات میانگین غیر از آبیاری ۵۰ درصـــد مرحلـه بلوغ میوه کـه بیشــــترین میزان (۴۳/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) را به خود اختصاص داد، تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۷) که احتمالاً بدلیل اینکه لیکوپن در مراحل پایانی سـاخته می‌شـود (Bang, Leskovar, Bender, & Crosby, 2004).

طول میوه بیشـــترین مقدار را با آبیاری کامل و آبیاری ۵۰ درصـد مرحله بلوغ میوه (بترتیب ۲۸/۹ و ۲۸/۶ سانتی‌متر) نشان داد و کمترین میزان (۱۳/۳سـانتی‌متر) با آبیاری ۵۰ درصـــد دوره رشـــد گیاه وجود داشت. سال دوم کاهش طول میوه با آبیاری ۵۰ درصد مرحله گلدهی نسبت به سال نخست مشاهده شد که شاید حاصل اثر دما بر تقسیمات سلولی باشد (شکل ۲).

قطر میوه بیشـــترین مقدار را با آبیاری کامل و آبیاری ۵۰ درصـــد مرحله بلوغ میوه (به‌ترتیب ۲۲/۹ و ۲۲/۶ ســانتی‌متر) نشــان داد و با سایر سـطوح غیر از آبیاری ۵۰ درصد مرحله توسعه میوه و آبیاری ۵۰ درصد تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۷).

شکل میوه با آبیاری ۵۰ درصد مرحله گلدهی در سال دوم کاهش یافت که حاصل اثر کاهش طول میوه است (شکل ۳).

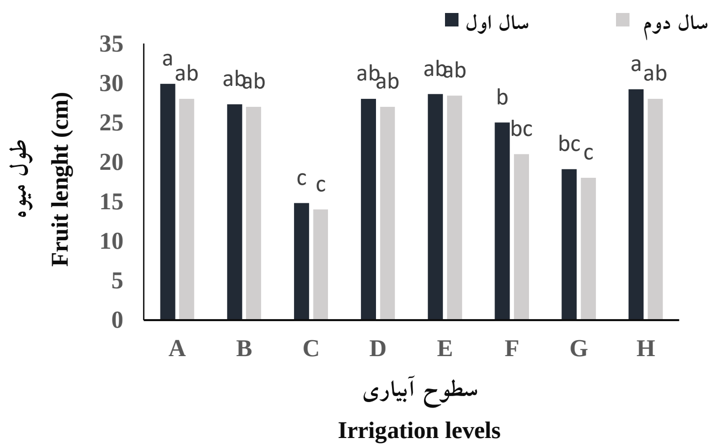
جدول ۷- مقایسه میانگین دو فصل اثر کم‌آبیاری و کم‌آبیاری تنظیم شده بر مواد جامد محلول، اسید قابل تیتر، پی اچ، مزه، ویتامین ث، ماده خشک، لیکوپن و قطر میوه

Table 7- Analysis of variance of irrigation effect of irrigation and on, soluble solids (TSS), titratable acid (TA), pH, taste (Tss/Ta), vitamin C, dry matter, lycopene, fruit width

تیمار Treatment	مواد جامد محلول Soluble (%) solids	اسید قابل تیتر Titratable acid (%)	پی اچ pH (%)	مزه Taste (%)	ویتامین ث Vitamin C (%)	ماده خشک Drymatter (%)	لیکوپن Lycopene (mgkg- fw)	قطر میوه Fruit width (cm)
آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) Full irrigation (100% water requirement)	8.97 ab	0.65 b	4.84 a	14.6 ab	28.7 a	8.13 b	39.1 ab	22.9 a
۷۰ درصد نیاز آبی 70% water requirement	8.61 b	0.59 b	4.88 a	15.4 ab	27.5 ab	8.40 ab	39.1 ab	21.2 ab
۵۰ درصد نیاز آبی 50% water requirement	8.52 bc	0.58 b	4.88 a	16.3 a	26.4 b	8.85 a	38.6 ab	10.4bc
۵۰ درصد نیاز آبی مرحله گیاهچه 50% water requirement seedling stage	8.67 b	0.65b	4.82 a	14.6 ab	27.9 ab	8.23 b	39.6 ab	21.7 ab
۵۰ درصد نیاز آبی مرحله ساقه‌دهی 50% water requirement vine stage	8.63 b	0.60 b	4.80 a	14.4 ab	28.2 ab	8.33 b	38.8 ab	21.3 ab
۵۰ درصد نیاز آبی مرحله گلدهی 50% water requirement of flowering stage	8.65 b	0.60 b	4.78 a	14.2 ab	28.2 ab	8.33 b	38.1 ab	21.6ab
۵۰ درصد نیاز آبی مرحله توسعه میوه 50 % water requirement of fruit development stage	8.58 bc	0.85 a	3.78 b	11.5 b	27.1 ab	8.50 ab	38.00 ab	11.5 bc
۵۰ درصد نیاز آبی مرحله بلوغ میوه 50 % water requirement of fruit maturity stage	9.46 a	0.60b	4.88 a	16.9 a	29.8 a	8.88 a	43.1 a	22.6 a

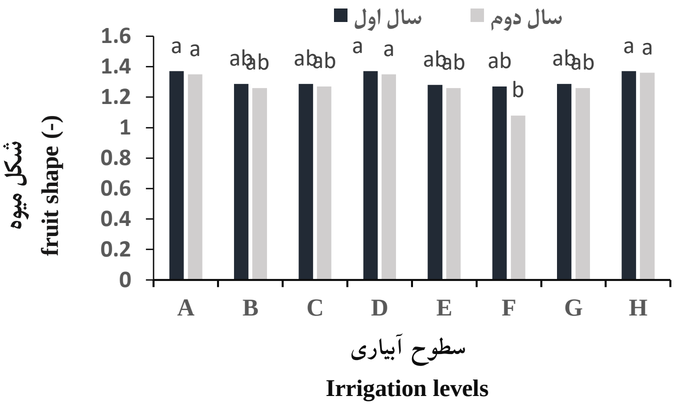
در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level based on Duncan multiple range test.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل سال و آبیاری بر طول میوه هندوانه ؛ A: آبیاری کامل، B: ۷۰ درصد نیاز آبی C: ۵۰ درصد نیاز آبی، D: ۵۰ درصد نیاز آبی مرحله گیاهچه، E: ۵۰ درصد نیاز آبی مرحله ساقه‌دهی، F: ۵۰ درصد نیاز آبی مرحله گلدهی، G: ۵۰ درصد نیاز آبی مرحله توسعه میوه، H: ۵۰ درصد نیاز آبی مرحله بلوغ میوه

Figure 2- Mean comparison of interaction effect of year and irrigation on watermelon fruit length; A: Full irrigation, B: 70% water requirement, C: 50% water requirement, D: 50% water requirement of seedling stage, E: 50% of water requirement of vine stage, F: 50% of water requirement of flowering stage, G: 50% water requirement of fruit development stage, H: 50% water requirement fruit maturity stage



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سال و آبیاری بر شکل میوه هندوانه در دو فصل زراعی، A: آبیاری کامل، B: ۷۰ درصد نیاز آبی C: ۵۰ درصد نیاز آبی، D: ۵۰ درصد نیاز آبی مرحله گیاهچه، E: ۵۰ درصد نیاز آبی مرحله ساقه‌دهی، F: ۵۰ درصد نیاز آبی مرحله گلدهی، G: ۵۰ درصد نیاز آبی مرحله توسعه میوه، H: ۵۰ درصد نیاز آبی مرحله بلوغ میوه

Figure 3- Mean comparison of interaction effect of year and irrigation on watermelon fruit shape; A: Full irrigation, B: 70% water requirement, C: 50% water requirement, D: 50% water requirement of seedling stage, E: 50% of water requirement of vine stage, F: 50% of water requirement of flowering stage, G: 50% water requirement of fruit development stage, H: 50% water requirement fruit maturity stage

نتیجه‌گیری

با اعمال کم‌آبیاری با شدت‌های به‌کار رفته در این مطالعه در مقایسه با آبیاری کامل (شاهد)، کاهش عملکرد هندوانه به‌طرز معنی‌داری مشاهده شد. بهره‌وری آب تقریباً ثابت ماند، در کیفیت قسمت خوراکی افزایش چشمگیری ایجاد نشد، اما کم‌آبیاری تنظیم شده مرحله گیاهچه از لحاظ عملکرد بدون تفاوت معنی‌دار با آبیاری کامل و تیمارهای آبیاری ۵۰ درصد مرحله ساقه‌دهی از لحاظ بهره‌وری آب و آبیاری ۵۰ درصد مرحله بلوغ میوه از لحاظ کیفیت نسبت به شاهد برتری داشت. بطور کلی در این مطالعه، کم‌آبیاری تنظیم شده نسبت به کم‌آبیاری، به‌دلیل کاهش عملکرد کمتر، افزایش بهره‌وری آب و کیفیت میوه گیاه هندوانه نتایج مطلوب‌تری داشت که در مواجه با محدودیت آب می‌تواند قابل‌توجه باشد. در نهایت توصیه می‌شود شدت‌های ملایم‌تر کم‌آبیاری که بنظر می‌رسد نتایج مطلوب‌تری در این گیاه به‌همراه داشته باشد در مطالعات بعدی مورد بررسی قرار گیرد.

سپاسگزاری

این پروژه با کد۵۳۷۴۶ در تاریخ ۱۳۹۹/۱۰/۱۷ در شورای پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تصویب و با تأمین مالی بخشی از هزینه با حمایت مالی دانشگاه نامبرده انجام شد. از سازمان هواشناسی کشور به‌خاطر همکاری در دریافت داده‌های هواشناسی تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Abbasi, F., & Abbasi, N. (2024). An analysis of irrigation efficiencies over time in Iran. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *17*(6), 1025-1033. (In Persian with English abstract). https://idj.iaid.ir/article_189534.html?lang=en
2. Abbasi, F., Akbari, M., Nasseri, A., Abbassi, N., Baghani, J., Joleini, M., Shahrokhnia, M.A., Nakhjavanimoghaddam, M.M., Sepehri Sadeghian, S., Moayeri, M., Hassanoghli, A., Haghayeghi, A., Ghadami Firouzabadi, A., mousavifazl, S.H., & Yazdani, M. (2024). A review of water consumption management indicators of different crops in Iran. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, *25*(94), 1-16. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/idser.2024.364605.1569
3. Abdelkhalik, A., Pascual, B., Najera, I., Domene, M.A., Baixauli, C., & Pascual-Seva, N. (2020). Effects of deficit irrigation on the yield and irrigation water use efficiency of drip-irrigated sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) under Mediterranean conditions. *Irrigation Science*, *38*, 89-104. https://doi.org/10.1007/s00271-019-00655-1
4. Abdelkhalik, A., Pascual-Seva, N., Najera, I., Giner, A., Baixauli, C., & Pascual, B. (2019). Yield response of seedless watermelon to different drip irrigation strategies under Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, *212*, 99-110. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.044
5. Allakonon, M.G.B., Zakari, S., Tovihoudji, P.G., Fatondji, A.S., & Akponikpè, P.I. (2022). Grain yield, actual

evapotranspiration and water productivity responses of maize crop to deficit irrigation: A global meta-analysis. *Agricultural Water Management*, *270*, 107746. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107746

6. Allen, R.G. (1998). *Crop evapotranspiration. FAO irrigation and drainage paper*, 56, 60-64. https://doi.org/10.3178/jjshwr.16.589
7. Arya, S.P., Mahajan, M., & Jain, P. (2000). Non-spectrophotometric methods for the determination of Vitamin C. *Analytica Chimica Acta*, *417*(1), 1-14. https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)00909-0
8. Ayele, B.G., Asseffa, S., & Tuhar, A.W. (2023). Effect of deficit irrigation under furrow irrigation techniques on garlic (*Allium sativum* L.) productivity at the central highland of Ethiopia. *Water-Energy Nexus*, *6*, 32-45. https://doi.org/10.1016/j.wen.2023.07.001
9. Bang, H., Leskovar, D.I., Bender, D.A., & Crosby, K. (2004). Deficit irrigation impact on lycopene, soluble solids, firmness and yield of diploid and triploid watermelon in three distinct environments. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *79*(6), 885-890. https://doi.org/10.1080/14620316.2004.11511861
10. Bikdeloo, M., Colla, G., Rouphael, Y., Hassandokht, M.R., Soltani, F., Salehi, R., Kumar, P., & Cardarelli, M. (2021). Morphological and physio-biochemical responses of watermelon grafted onto rootstocks of wild watermelon [*Citrullus colocynthis* (L.) Schrad] and commercial interspecific cucurbita hybrid to drought stress. *Horticulturae*, *7*(10), 359. https://doi.org/10.3390/horticulturae7100359
11. Carillo, P., & Gibon, Y. (2011). Protocol: Extraction and determination of proline. *PrometheusWiki*, 1-5.
12. Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, H.L., Waskom, R.M., Niu, Y., & Siddique, K.H. (2016). Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *36*, 1-21. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0338-6
13. Comas, L.H., Trout, T.J., DeJonge, K.C., Zhang, H., & Gleason, S.M. (2019). Water productivity under strategic in maize. *Agricultural Water Management*, *212*, 433-440. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.015
14. Du, T., Kang, S., Zhang, J., & Davies, W.J. (2015). Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in agriculture for China's food security. *Journal of Experimental Botany*, *66*(8), 2253-2269. https://doi.org/10.1093/jxb/erv034
15. Emam, Y., Shekoofa, A., Salehi, F., & Jalali, A.H. (2010). Water stress effects on two common bean cultivars with contrasting growth habits. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, *9*(5), 495-499.
16. Erdem, Y., & Yuksel, A.N. (2003). Yield response of watermelon to irrigation shortage. *Scientia Horticulturae*, *98*(4), 365-383. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(03)00019-0
17. Fish, W.W., Perkins-Veazie, P., & Collins, J.K. (2002). A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *Journal of Food Composition and Analysis*, *15*(3), 309-317. https://doi.org/10.1006/jfca.2002.1069
18. Gao, Q.H., Yu, J.G., Wu, C.S., Wang, Z.S., Wang, Y.K., Zhu, D.L., & Wang, M. (2014). Comparison of drip, pipe and surge spring root irrigation for jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruit quality in the Loess Plateau of China. *PloS one*, *9*(2), 88912. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088912
19. Giannopolitis, C.N., & Ries, S.K. (1977). Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, *59*(2), 309-314. https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309
20. Hou, H., Yang, Y., Han, Z., Cai, H., & Li, Z. (2019). Deficit irrigation effectively reduces soil carbon dioxide emissions from wheat fields in Northwest China. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *99*(12), 5401-5408. https://doi.org/10.1002/jsfa.9800
21. Jafari, H., & Abbasi, F. (2023). Introducing and evaluation of relative economic water productivity index. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *54*(7), 1095-1114. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.358941.669495
22. Jefferies, R.A., & Mackerron, D.K.L. (1993). Responses of potato genotypes to drought. II. Leaf area index, growth and yield. *Annals of Applied Biology*, *122*(1), 105-112. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1993.tb04018.x
23. Jing, D., Liu, B., Ma, H., Liu, F., Liu, X., & Ren, L. (2023). Effects of inoculation with different plant growth-promoting rhizobacteria on the eco-physiological and stomatal characteristics of walnut seedlings under drought stress. *Agronomy*, *13*(6), 1486. https://doi.org/10.3390/agronomy13061486
24. Khanthavong, P., Yabuta, S., Asai, H., Hossain, M. A., Akagi, I., & Sakagami, J.I. (2021). Root response to soil water status via interaction of crop genotype and environment. *Agronomy*, *11*(4), 708. https://doi.org/10.3390/agronomy11040708
25. Kuscu, H., Turhan, A.H.M.E.T., Ozmen, N., Aydinol, P., Buyukcangaz, H., & Demir, A.O., (2015). Deficit irrigation effects on watermelon (*Citrullus vulgaris*) in a sub humid environment. *Journal of Animal & Plant Sciences, 25*(6), 1652-1659.
26. Lichtenthaler, H.K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, *1*(1), F4-3. https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01
27. Liu, J.X., Zhang, R., Cheng, Z.Y., Li, M., Cheng, N.N., Ma, Q.M., & Dai, W.Y. (2016). Effect research of water deficit in different growth stage on wine grape yield and quality. *Journal Agricultural Research in the Arid Areas*,

34, 78-83.

28. Liu, L., Mo, Y., Yang, X., Li, X., Wu, M., Zhang, X., & Li, H. (2014). Reasonable drip irrigation frequency improving watermelon yield and quality under regulated deficit irrigation in plastic greenhouse. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, *30*(24), 95-104.
29. Meddich, A., Ait Rahou, Y., Boutasknit, A., Ait-El-Mokhtar, M., Fakhech, A., Lahbouki, S., & Wahbi, S. (2022). Role of mycorrhizal fungi in improving the tolerance of melon (*Cucumus melon*) under two water deficit partial root drying and regulated deficit irrigation. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, *156*(2), 469-479. https://doi.org/10.1080/11263504.2021.1881644
30. Miceli, A., Vetrano, F., Torta, L., Esposito, A., & Moncada, A. (2023). Effect of Mycorrhizal Inoculation on Melon Plants under Deficit Irrigation Regimes. *Agronomy*, *13*(2), 440. https://doi.org/10.3390/agronomy13020440
31. Muhie, S.H., Akele, F., & Yeshiwas, T. (2024). Economic feasibility of carrot (*Daucus carota* L.) production in response to different seed priming techniques under deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*, *325*, 112662. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112662
32. Mukherjee, S., Dash, P.K., Das, D., & Das, S. (2023). Growth, yield and water productivity of tomato as influenced by deficit irrigation water management. *Environmental Processes*, *10*(1), 10. https://doi.org/10.1007/s40710-023-00624-z
33. Ozmen, S., Kanber, R., Sarı, N., & Unlu, M. (2015). The effects of deficit irrigation on nitrogen consumption, yield, and quality in drip irrigated grafted and ungrafted watermelon. *Journal of Integrative Agriculture*, *14*(5), 966-976. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60870-4
34. Rouphael, Y., Cardarelli, M., Colla, G., & Rea, E. (2008). Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. *HortScience*, *43*(3), 730-736.
35. Shohat, H., Eliaz, N.I., & Weiss, D. (2021). Gibberellin in tomato: Metabolism, signaling and role in drought responses. *Molecular Horticulture*, *1*(1), 1-12. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.3.730
36. Silva, J.M., da Silva Junior, G.B., Bonifácio, A., Dutra, A.F., de Mello Prado, R., de Alcantara Neto, F., & de Sousa, R.S. (2023). Exogenous salicylic acid alleviates water stress in watermelon plants. *Annals of Applied Biology*, *182*(1), 121-130. https://doi.org/10.1111/aab.12802.
37. Slinkard, K., & Singleton, V.L. (1977). Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, *28*(1), 49-55. https://doi.org/10.5344/ajev.1977.28.1.49
38. Smart, R.E., & Bingham, G.E. (1974). Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology*, *53*(2), 258-260. https://doi.org/10.1104/pp.53.2.258
39. Tian, X., & Lei, Y. (2006). Nitric oxide treatment alleviates drought stress in wheat seedlings. *Biologia Plantarum*, *50*, 775-778. https://doi.org/10.1007/s10535-006-0129-7
40. Turner, N.C. (1990). Plant water relations and irrigation management. *Agricultural Water Management*, *17*(1-3), 59-73. https://doi.org/10.1016/0378-3774(90)90056-5
41. Wang, F., Kang, S.Z., & Wang, Z.C. (2007). Effects of regulated deficit irrigation on water use efficiency, yield and quality of watermelon in Minqin county of Gansu province. *Agricultural Research in the Arid Areas*, *25*(4), 123-129.
42. Wang, Z., Yu, S., Zhang, H., Lei, L., Liang, C., Chen, L., & Li, X. (2023). Deficit mulched drip irrigation improves yield, quality, and water use efficiency of watermelon in a desert oasis region. *Agricultural Water Management*, *277*, 108103. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108103
43. Xu, J., Wan, W., Zhu, X., Zhao, Y., Chai, Y., Guan, S., & Diao, M. (2023). Effect of regulated deficit irrigation on the growth, yield, and irrigation water productivity of processing tomatoes under drip irrigation and mulching. *Agronomy*, *13*(12), 2862. https://doi.org/10.3390/agronomy13122862
44. Yang, H., Du, T., Qiu, R., Chen, J., Wang, F., Li, Y., & Kang, S. (2017). Improved water use efficiency and fruit quality of greenhouse crops under regulated deficit irrigation in northwest China. *Agricultural Water Management*, *179*, 193-204. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.05.029
45. Yang, P., & He, S. (2022). The effects of arbuscular mycorrhizal fungi and deficit irrigation on the yield and sugar content of watermelons (*Citrullus lanatus*). *Horticultural Science*, *49*(4), 225-233. https://doi.org/10.17221/108/2021-HORTSCI
46. Yavuz, D., Seymen, M., Yavuz, N., Coklar, H., & Ercan, M. (2021). Effects of water stress applied at various phenological stages on yield, quality, and water use efficiency of melon. *Agricultural Water Management*, *246*, 106673. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106673
47. Zhang, H., Xiong, Y., Huang, G., Xu, X., & Huang, Q. (2017). Effects of water stress on processing tomatoes yield, quality and water use efficiency with plastic mulched drip irrigation in sandy soil of the Hetao Irrigation District. *Agricultural Water Management*, *179*, 205-214. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.022